知识可视化设计研究脉络分析*

张文[12]

（[1]江南大学 无锡 214122,[2]埃因霍芬理工大学 埃因霍芬 5612AH）

摘要：[目的]知识可视化是知识社会重要的知识再生产工具，其设计研究反映了人们对新形式知识创造的努力探索。[方法]研究借助文献计量分析工具Vosview和Citespace 以及自主梳理方法，以“知识可视化设计”为关键词对1985-2022年间国内外文献进行检索和分析。[结果]解析了知识可视化国际设计研究发展的辩证历程和国内研究的现状。**[局限]**研究认为知识可视化领域需要一个普遍的框架来协调大量碎片化的研究.[结论]知识可视化设计应进一步丰富研究层次多元化设计者的认识视角,设计应以唯物辩证法把握发展趋势清晰设计研究道路。

关键词：知识可视化；设计；文献分析；唯物辩证法；策略

分类号：G353.11

Scheme analysis of knowledge visualization design research

Zhang Wen[12]

([1]Jiangnan University Wuxi 214122

[2]Eindhoven University of Technology Eindhoven 5612AH)

Abstract:[Objective]Knowledge visualization is an important tool for spreading and creating knowledge in the knowledge society, its design research reflects people's efforts to explore new forms of knowledge.**[Methods]**With the help of bibliometric analysis tools Vosview and Citespace as well as the independent sorting method, this study searched and analyzed the domestic and foreign works of literature from 1985 to 2022 with the keyword "knowledge visualization design",**[Results]** and the dialectical course of international design research on knowledge visualization and the present situation of domestic design research are analyzed.**[Limitations]** It is found that the field of knowledge visualization needs a universal framework to coordinate various types of knowledge visualization design.**[Conclusions]** Researchers of knowledge visualization design need to improve their understanding of knowledge visualization design by diversifying and examining the purpose and nature of visualization from multiple perspectives. Designers can follow the overall dialectical development trend of this field to grasp their own design research path.

Keywords: Knowledge visualization； Design；literature analysis；Materialist dialectics；Strategy

知识社会人们可以获得海量的知识内容，知识可视化厘清繁杂问题的能力使其大放异彩，成为传播和创造知识的有效工具。设计可以用于可视化研究已

**本文系江苏省研究生科研创新计划项目“高等教育情境中基于知识创造的知识可视化设计研究”（项目编号：KYCX19_1845）研究成果之一。研究获得中国留学基金委艺术类特别项目支持（项目编号：201906790062）。

经得到认可[1]，因为设计是一项极为复杂而精密的人类活动，同时设计理论是一个要求很高的研究领域。设计理论家意识到，不能指望用普通的语言来回答某些问题，需要高水平的形式语言和模型[2]，而这也正是知识可视化领域迫切需求的理论研究范式，因此本研究从“设计”出发捕捉知识可视化的发展的核心脉络。

1. 文献来源

知识可视化是近二十年来的新兴研究领域，它的始发地与传播地研究现状存在差异是必然的，因为新领域的研究重心和研究布局尚不稳定，对国内外区别分析有助于了解其历史的发展和趋势。本研究以读者的范畴为依据进行国内外研究划分，国外研究是指以英文为主要写作语言面向世界广泛学术共同体的研究成果。国内研究是指以中文为主要写作语言面向国内学术共同体的研究成果。这种划分依据虽然不能做到全面但是对于了解知识可视化设计研究的脉络有所帮助。

2. 国外研究

2.1 数据来源

本研究的国外研究文献数据来源于美国美国科学情报研究所的 Web of Science 的核心合集数据库。其内容包括 Science Citation Index（SCI,科学引文索引）（数据包括 1989 至今），Science Citation Index-Expanded（SCIE,科学引文索引）（数据包括 1991 至今）， Social Sciences Citation Index（SSCI,社会科学引文索引）（数据包括 2001 年至今）， Arts&Humanlities Citation Index（A&HCI 艺术与人文引文索引）（数据包括 2016 年至今）Emerging Sources Citation Index（ESCI 引文索引）（数据包括 2015 年至今）Current Chemical Reactions (CCR-拓展索引)（数据包括 1985 年至今 ）。由于知识可视化相关论文过于广泛，作者将焦点集中在“知识可视化”和“设计研究”两个关键词上，以“knowledge visualization”和“design study”为检索词，发表年限设为 1985-2022 年，进行主题检索得到文献 1377 篇（数据下载于 2022 年 1 月 14 日）。

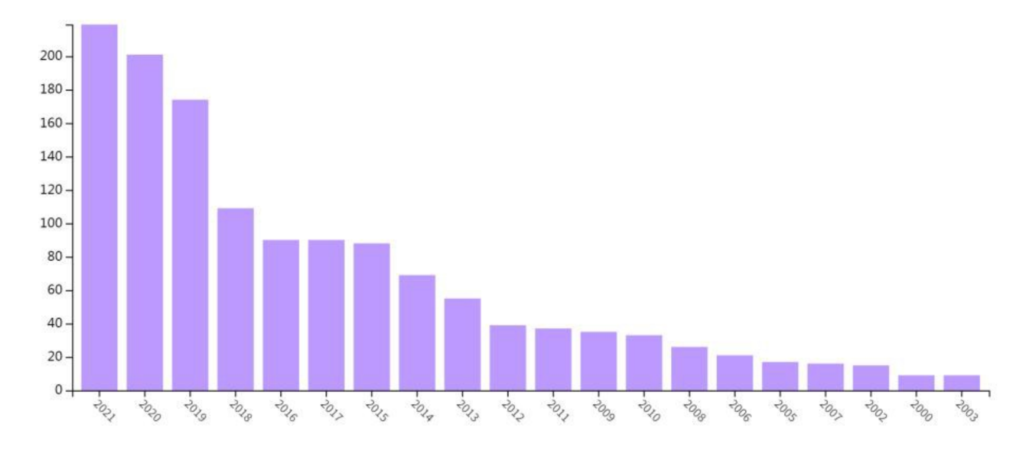


图 1 2000-2021 国外发文量趋势（纵轴为论文篇数）

2.2 学科、国家和基金分布

根据 Web of science 提供的检索分析，知识可视化研究近二十年一直呈现增长趋势，近三年增速显著（图 1）。其研究方向分布广泛，但主要集中在自然科学领域（图 2（a））占比前十名是计算机科学是 30.356%，工程 19.753%，教育研究 14.234%，商业经济 6.681%，图情科学 6.391%，环境科学 4.866%，生物分子学 4.212%，科学技术 3.922%，心理学 3.341%，化学 3.122%。在相应的引文索引系统里，SCI(E)和 SSCI 发文占比较高，ESCI 和 A&HCI 数量较少（表 1）。全世界进行知识可视化设计研究的国家有 87 个，可以分为三个梯队（表 2）：第一是美国占 29%，中国、德国、英国为第二梯队分别占 16%、9%和 9%，西班牙、意大利、加拿大、澳大利亚、法国、荷兰、瑞典等为第三梯队。从支持基金数量看以科学类基金为主，且多是由国家和区域支持的基金项目。其中，中国国家自然科学基金项目 87 篇，美国国家科学基金会 71 篇，美国国立卫生研究院 58 篇，美国卫生与公共服务部 58 篇，欧盟委员会基金 50 篇，英国研究创新基金 34 篇，德国研究基金 28 篇，英国工程物理科学研究基金 18 篇。尽管中国基金项目数量较多，但基金来源相对单一，诸多部门尚未将知识可视化设计作为本领域重要的独立研究对象。美国的公共服务和卫生系统对知识可视化设计研究有明显关注（图 2（b））。

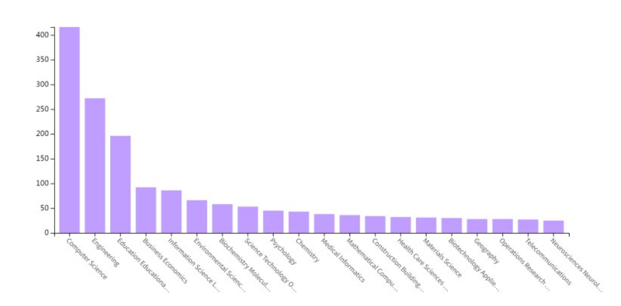
表 1 文献引文索引发文量排名

排名	文献索引文索引数据库	发文数量（篇）	占比
1	SCI(E)科学引文索引	970	70.443%
2	SSCI 社会科学引文索引	537	38.998%
3	ESCI 新兴源引文索引	161	11.692%
4	CPCI-S 会议记录引文索引-科学	72	5.229%
4	A&HCI 艺术与人文引文索引	21	1.525%
5	BKCI-S 图书引文索引-科学	7	0.508%
6	CPCI-SSH 会议记录引文索引-社会科学与人文科学	5	0.363%

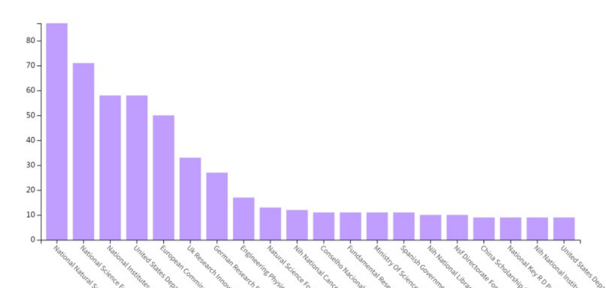
表 2 各国文献发文量排名前十

排名	国家	发文数量	占比
1	美国	401	29.121%
2	中国	200	14.524%
3	德国	131	9.531%
4	英国	127	9.223%
4	西班牙	61	4.430%
5	意大利	60	4.357%
6	加拿大	59	4.285%

7	法国	57	4.139%
8	澳大利亚	56	4.067%
9	荷兰	56	4.067%
10	瑞典	44	3.195%



（a）研究方向数量排名



（b）研究支持基金数量排名

图 2 国外研究重心（纵轴为论文篇数）

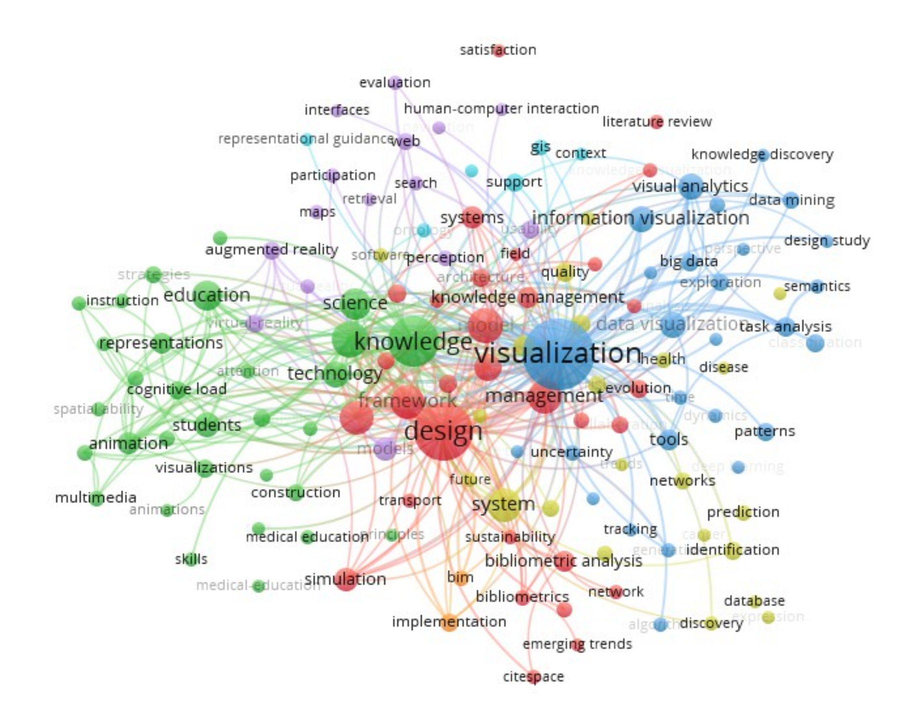
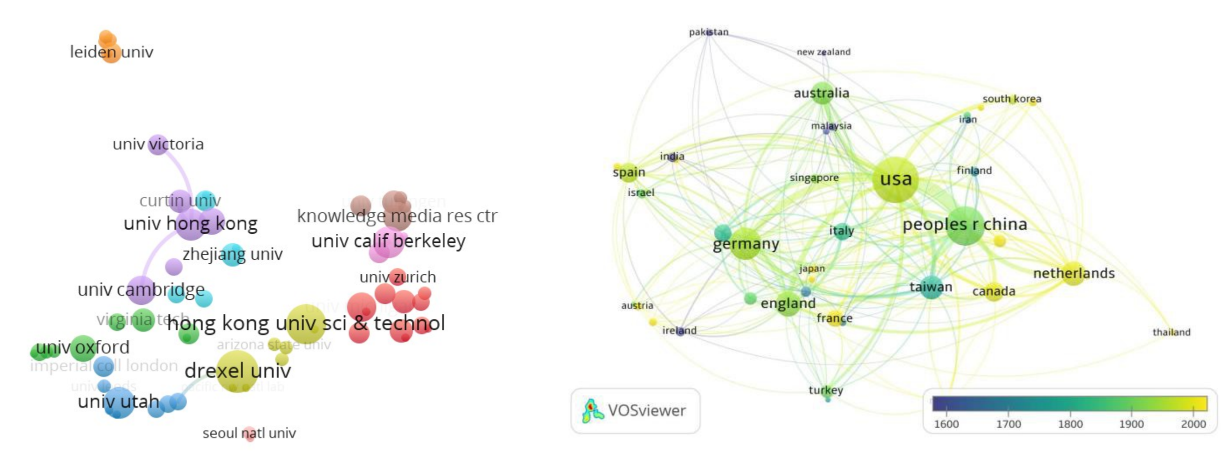


图 3 关键词共现性分析

2.3 研究领域和研究族群

研究基于 Web of science 核心数据库使用两款文献计量可视化分析软件进行分析。首先作者使用 VOSviewer[3]的聚类和映射技术进行文献分析，对 1377 篇文章的题目、关键词、摘要进行共关键词共现性分析。热词最小出现频率阈值为 10，在 7439 个关键词汇中检测出 134 个符合阈值要求并进行标签图和聚类图绘制（图 3）。可以看出共现频率最高的概念有“可视化”、“知识”、“设计”等，知识可视化设计的研究主要分布在三个领域：可视化自身功能（蓝色和紫色区域），认知教育领域（绿色区域）以及知识管理和情报领

域（红色和黄色区域），这些领域更加关注可视化的“设计”问题，注重通过设计而不只是技术来支撑知识可视化的应用。在 1780 个可视化研究国际机构中有 5 篇以上文献的研究机构有 99 家，其中 64 家可以建立关系网络。它们形成十个研究族群，代表学校分别有：香港大学、浙江大学、加州伯克利大学、密西根大学、苏黎世大学、犹他大学、牛津大学、德雷赛尔大学、莱顿大学、首尔大学等（图 4（a））。在研究知识可视化设计的 87 个国家中有 38 个发表文献超过 10 篇，其中 36 个国家可以建构关系网络。得到各国家间研究合作图（图 4（b）），其中美国、中国、英国、德国四国之间合作紧密，而美国和中国的合作对象都较为广泛，美国的紧密合作对象包括中国、中国台湾、英国、德国、荷兰、加拿大、瑞士、意大利、韩国。中国紧密合作对象包括美国、英国、德国、法国、荷兰、意大利、西班牙、中国台湾。



（a）研究机构合作关系图　　　　（b）国家（地区）研究合作关系图

图 4 国际合作情况

2.4 历史描述

为了解知识可视化设计研究的脉络和发展论文使用 Citespace[4]文献计量分析软件进行可视化分析，Citespace 的爆发点检测和时间线功能产出的时区视图可以根据需要将图谱划分为若干时间节点，从而观察研究领域的路径演变、知识基础和核心研究间的关系。作者将文献分析时区设为 1985 到 2022 年，时区设定每两年一个切片探索原始数据中的关键突变词。经计算分析时区切片发现知识可视化设计领域 1992 年开始有前沿热词出现，2001 年开始至 2022 年持续呈现突变词影响效果。

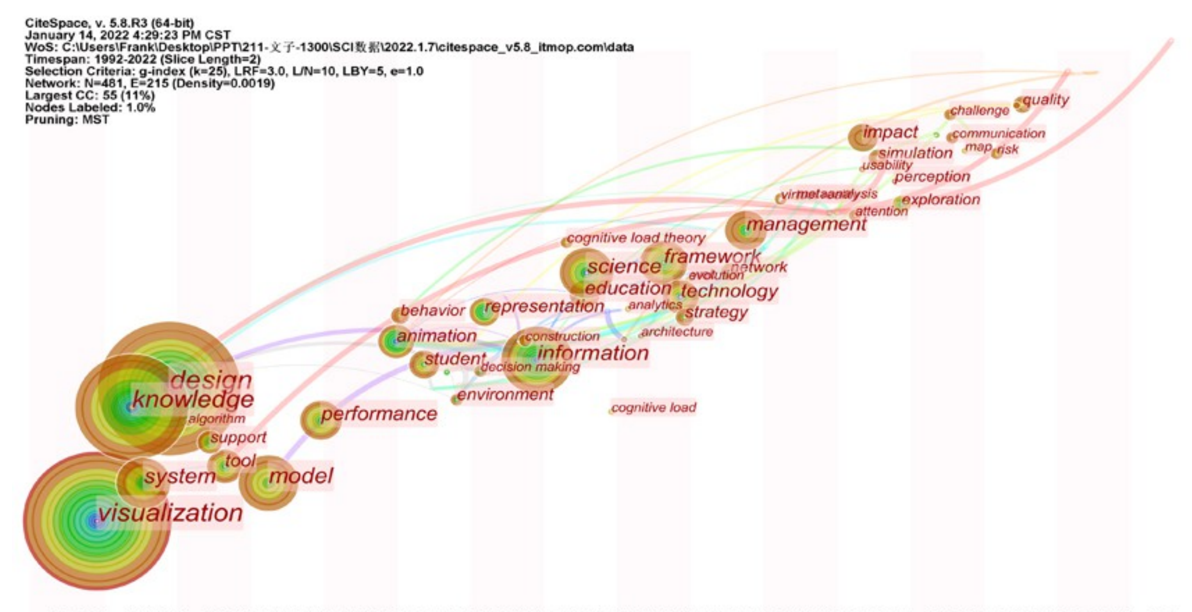


图 5 1992-2022 知识可视化设计领域前沿时区图

根据图5，突变词分布如下：1992年-1993年是“可视化”（visualization）；1994-1995年是“知识”（knowledge）、“设计”（design）和“系统”（system）；1996-1997年是“工具”（tool）；1998-1999年是“模型”（model）；2000-2001年是“表现”（performance）；2002-2003年是“动画”（animation）、“行为”（behavior）和“环境”（environment）；2004-2005年是“信息”（information）；2006-2007年是“科学”（science）和“教育”（education）；2008-2009年是“技术”（technology）、“框架”（framework）和“认知”（cognitive）；2010-2011年是“管理”（management）；2012-2013年是“元分析”（meta-analysis）和“注意力”（attention）；2014-2015年是“影响”（impact）、“模拟”（simulation）、“感知”（perception）和“探索”（exploration）；2016-2017年是“挑战”（challenge）和“交流”（communication）；2018-2019年是“风险”（risk）和“质量”（quality），之后没再出现明显突变词。

突变词列表（图6）中可以看出突变词持续年限和突变强度，以下列举了排名前十的突变概念。2001年开始“动画”（animation）成为知识可视化设计中持续关注的研究热点，时间长达16年。2005年“信息”（information）的设计受到关注；紧随其后在09年“知识”（knowledge）、“表征”（representation）和“多媒体”（multimedia）同时成为未来三年的热门研究领域，并且对“表征”的关注持续到2016年。2013年知识可视化研究开始转向更深的领域，“参与”（participation）和“探索”（exploration）依次成为未来几年的关注点，2017年至2020年的“风险”（risk）意味着人们开始

用可视化探索不确定性，2019 年“模拟”（simulation）一词成为新的研究焦点。

Top 10 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End
animation	1985	4.8	**2001**	2016
information	1985	3.22	**2005**	2008
representation	1985	3.72	**2009**	2016
multimedia	1985	3.23	**2009**	2012
knowledge	1985	3.1	**2009**	2012
visualization	1985	3.44	**2011**	2012
participation	1985	3.17	**2013**	2016
exploration	1985	4.56	**2015**	2018
risk	1985	2.8	**2017**	2020
simulation	1985	3.06	**2019**	2022

图 6 1985-2022 知识可视化设计领域突变词列表

2.5 辩证发展分析

结合图 5 和图 6 可以发现，知识可视化设计从 90 年代开始进入学术研究领域，在 2000 年才正式形成相对稳定和集中的设计研究方向，从 2001 年到 2022 年这二十年的突变词发展可以看出科学技术的提升对可视化研究方向有着重要影响。2001 年突变词为“动画”：随着电脑技术发展动画带来生动的知识表征效果，动画使静止的图片生动起来，极大提升了人们认知的感受，“动画”引起学者的关注，是知识可视化成为独立研究领域的启蒙条件。对“动画”的探索进一步推动了知识可视化在“表征”（2009 年）领域的全面研究，两者在 2016 年才结束长时间的主导地位。而这种全面研究需要考虑信息和知识在不断发展的媒介形式（2009 年）中的变化，于是可视化技术与“多媒体”的结合继续开拓出新的研究领域。随着 2010 年以来互联网的快速发展，“可视化”被更广泛群体所认知，更多学者关注到这个领域。知识可视化设计研究从总结知识表征的规律——具体经验到抽象理论，到关注人的实践因素——可以让人们“参与”体验（2013 年）、“探索”不确定性（2015 年）、降低“风险”（2017 年），研究的层次从感性具体到抽象规定又上升到理性具体[5]的不断变化。近年来，由于技术和算法的快速提升使知识可视化设计研究进入到高质量和高挑战的新领域。2019 年出现的突变词“模拟”看似回到视觉表征的研究层面，实则是借助新技术对 2013 年开始的“参与”、“探索”和“风险”的回应，是尝试解决复杂问题的更精准的方案。

从这二十多年的发展脉络中看出知识可视化设计研究以可视化效果作为认识的起点，学者们通过对感知材料的理性加工获得对知识可视化设计的部分规律性认知来指导实践。研究脉络经历了从具体到抽象再到具体，从个别到普遍再到个别，从确定性表现到不确定性探索再到确定性的精准提升的过程。这个

过程是辩证发展的，尤其当下的“模拟”既是对“参与”、“探索”和“风险”的回应，也是知识可视化设计研究范式（关于表征）螺旋式上升的复归，是向上一个台阶的前进，它正在为“元宇宙”[6]的实现迈出关键一步。

3. 国内研究

3.1 文献计量分析

国内研究现状数据来源为中国学术期刊网络出版总社 CNKI 数据库，作者以“知识可视化设计”为核心词进行主题搜索[7]，获得学术研究内容 518 份基本涵盖了国内学者在该领域的研究内容，其中学位论文共 186 篇，硕士论文 171 篇，博士论文 15 篇。国内知识可视化设计领域研究正在快速发展，尤其近 10 年有显著上升趋势（图 7）知识可视化正在成为国内新的热门研究领域。

这些研究中很多把知识可视化当做实现专业知识提取和传播的工具或技术手段，研究层次主要集中在知识可视化的应用研究、技术研究、教育影响研究。从图 8 看出知识可视化研究以教育类领域应用最为广泛，这也与现代教育数字化、信息化转型的需求相吻合。而从基金数量看（图 9），目前国内对于知识可视化的自然科学领域的研究支持力度多于人文社科领域。作者提取了在知识可视化设计领域积极从事研究的前 20 名学科（图 10），看出研究主要分布在计算机、教育、图情等学科领域，艺术类为第五，设计类的独立研究尚未形成规模。国内可视化设计研究者应对知识可视化给予积极关注。

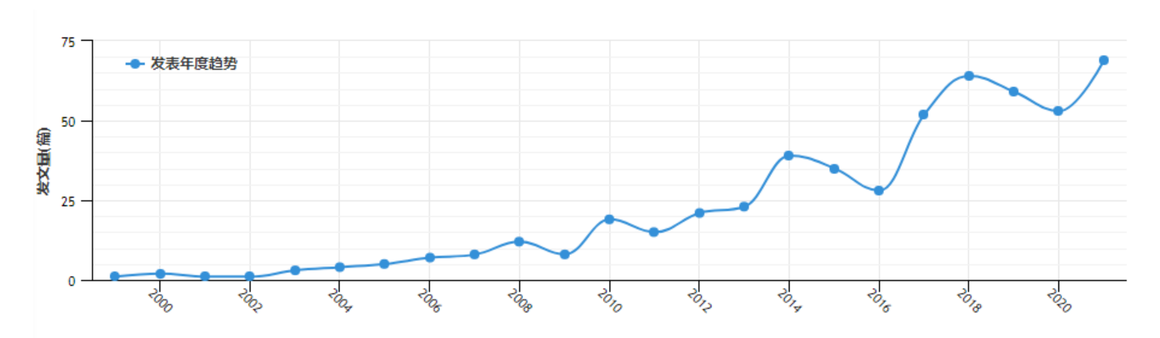


图 7 知识可视化设计研究国内发文量趋势图

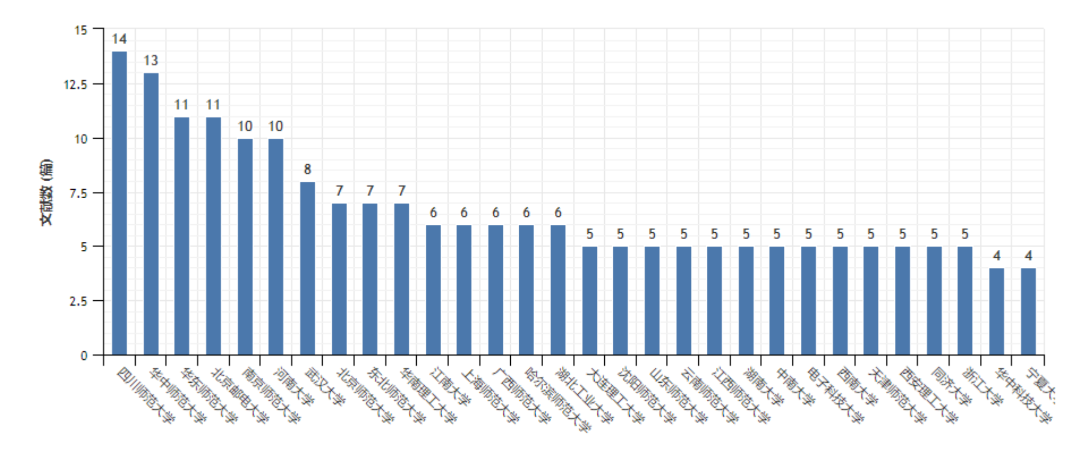


图 8 知识可视化设计研究发文单位分布图

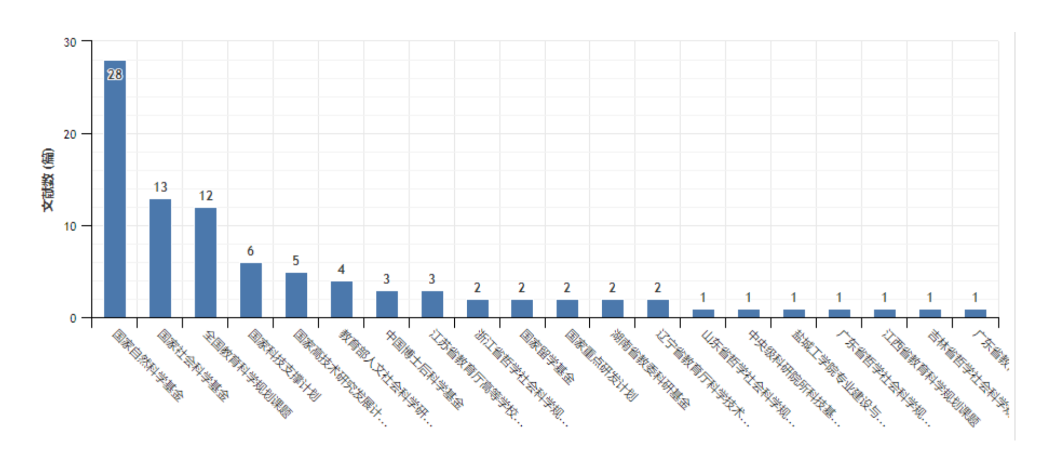


图 9 知识可视化设计研究支持基金分布图

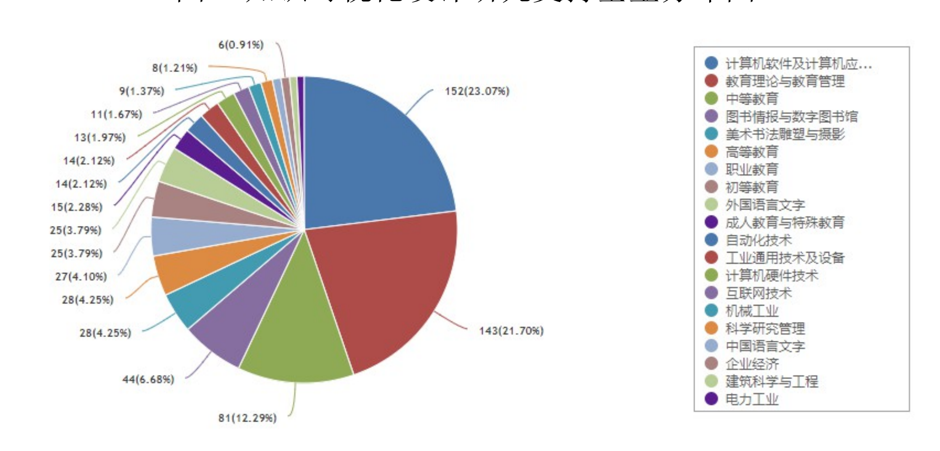


图 10 知识可视化设计学科分布图

3.2 研究类别

通过进一步自主梳理发现国内知识可视化设计研究内容主要集中在三个方面：知识可视化的介绍、知识可视化的设计表征和知识可视化的设计过程。其中部分学者的研究内容在这三个领域交叉组合。

3.2.1 介绍性研究

首先是关于知识可视化内涵。这部分研究者主要介绍和讨论知识可视化的概念定义。学者赵国庆[8]率先详细分析了马丁·爱普对知识可视化的定义，贺全兵则介绍了可视化技术的发展及应用[9]。学者张舒予、邱婷、赵慧晨等人都分别给出自己对知识可视化的定义，但他们总体都是认为知识可视化就是对知识进行图像化的的视觉描述，通过可视化的方式使人们可以更好的对知识获取、存储、讨论、评价和管理[10]。王晰于 2018 年对知识可视化进行了再定义[11]，这个定义的前提是共享决策（医疗）的情境因此普遍性有限。

其次，是关于知识可视化的比较类研究。由于知识和信息的差异性，一些学者专门比较了知识可视化与信息可视化的异同，袁国明和周宁通过对两者概念内涵、应用范围和理论方法的对比，得出信息可视化侧重发现新规律，知识可视化侧重传播的结论[12]。学者周宁、陈勇跃、金大卫、张会平将知识可视化和信息可视化从十个方面进行比较，找出两者整合协作的方案[13]。张卓、宣蕾、

郝树勇更是将科学计算可视化、数据可视化、信息可视化和知识可视化四个概念、技术、应用领域进行比较，认为应综合考虑它们的特点便于整合使用。这些研究者们通过比较的方法明晰新研究领域的边界和范围是知识可视化研究中重要的一环。

最后是综述类研究，一些学者以综述的方式对知识可视化的行业行情、发展现状和研究趋势做出描述分析。赵慧晨进行了知识可视化的视觉表征研究综述[14]，张霞写作了《知识可视化研究综述》[15]阐述了研究现状为知识可视化设计提供参考。刘超[16]在 2012 年对知识可视化十年内的研究进行梳理，他的着眼点在教与学，认为知识可视化设计需要反复实践。王晰对 1997 至 2017 年的 Web of science 数据库和知网数据库的知识可视化文献作计量分析介绍了国内外相关研究进展。以上研究从三个方面分别介绍知识可视化的内涵和发展现状，为其它相关研究人员提供了一个知识可视化研究领域的概览。

3.2.2 设计表征研究

可视化领域对表征的研究主要是基于 Paivio 在 1986 年提出的双重编码理论[17]，他认为语言系统可以直接以口头与书面的形式处理语言的输入与输出，也可以保存着与非语词的事物、事件和行为有关的象征功能，任何一种表征理论都必须适合这种双重能力。这种语义与表象二元划分的意识被马丁·爱普引入知识可视化定义，爱普认为视觉传播和视觉认知是知识可视化的基础，可视化的研究对象是视觉表征[18]，由此国内诞生了一批以研究知识的视觉表征为对象的学者。其中赵慧晨[19]是该领域的主要学者之一，她从视觉表征出发构建了教育领域的知识可视化的表征立方模型；邱婷认为知识可视化的本质就是知识表征[20]；陈燕燕用视觉隐喻的方式进行知识可视化表征设计，打破了知识可视化研究的唯技术论（工具论）现象；朱永海则基于常见的知识分类对视觉表征进行研究[21]。此外两个研究者将用户需求纳入表征设计：学者王朝云[22]通过区分知识类型，分析学习者个体差异和目的动机来选择合适的知识可视化方式，周宁、吕永峰提倡从用户或学习者出发，提炼知识可视化设计方法。双重编码理论出自心理学领域，对于知识可视化产品来说其研究视角和范式有一定局限。

王志娟认为目前研究只关注知识可视化表征，而对具体的学科知识体现不足，应更进一步加强形式化语言，设计多维度复杂算法[23]。作者认为对于知识表征的研究是必要的，但将知识可视化等同于知识表征，易使设计者忽视知识可视化作为产品的本质属性。人们把知识可视化作为知识承诺产品还是经济价值商品；作为某种产品附属部分还是产品主体的界限模糊，而缺乏对可视化产品本质的思考会加重可视化产品评估系统定位的困难，甚至面临评估标准随意或真空的困境。解决此问题的思路一端是更加精准的科技和算法，相反的另一端是跳出心理学框架的研究视角，但目前这类研究较少。

3.2.3 设计框架和流程研究

目前知识可视化设计研究很多集中在过程模式的开发和应用上，特别是一些指导设计的具体步骤。如周宁、张会平等人提出隐性知识转化的过程模型[24]，他们还用分类方式建立知识可视化立方体框架[25]和可视化技术的知识转化模型[26]。赵慧晨也建立了知识可视化表征的分析框架：形势分析、内容建构、意义解读和设计方法[27]。刘伟在其硕士论文中也总结归纳了知识可视化流程设计中的若干方面[28]。王晰在医疗共享决策情境中提炼了知识可视化的设计流程[29]。这些框架和模型以程序性知识为主，这些程序性知识一般是线性的，机械的过程模式，其中动态的、辩证的思考较少。过程的研究是重要的，但不能只注重过程的表面现象，需要更多关注其发生学机制，否则不足以提供重要的参考指导[30],[31]，研究者可以通过设计哲学来进一步严谨建构各种形式知识。

4. 设计研究局限

从以上分析结果看知识可视化设计研究需要普遍性框架。知识可视化的设计研究超越“艺术设计”的范畴，涉及学科众多在其他学科和行业领域有着广泛研究基础[32]。但很多研究只关注局部或个别阶段的创造知识的环节和现象，如知识可视化设计发展的研究重点从关注“动画”，之后再转移到“信息”、“表征”、“媒介”、“用户参与”等方面，对各环节之间的联系考察尚不充分，对“知识创造”的整体意义讨论较缺。随着可视化领域的发展，学科交叉情况凸显，对研究成果的普适性要求愈发强烈。Burkhard 认为**该领域需要一个普遍的框架来协调知识可视化领域中不同的独立的研究内容**[33]**。**现代学术体制把学者们的兴趣锁定在一个个狭小的易出成果的专业领域，淡化了人们对人类社会整体的人文关怀。且后现代主义反对普遍真理，反对宏大叙事，反对元话语，这导致即便不是后现代主义者对这些概念也心存戒备[34]，为知识可视化设计的普遍性框架的研究制造障碍，这个问题亟需解决。

5. 总结思考

本研究从“设计”视角切入，综合国内外知识可视化研究内容和自身设计实践认为现阶段知识可视化设计研究可以从下面两方面做出思考。

5.1 多元化认识视角和丰富研究层次

目前知识可视化研究内容多为科学实证研究，主要在心理学和计算机研究框架内解决问题，对知识可视化设计中的认识基础和本体结构的思考较少。通常可视化课程和教科书倾向于不讨论关于可视化的各种本体论和认识论，也不对可视化研究人员进行设计和各种探究方法的广泛教育[35]。目前来看知识可化设计研究领域关注事物本质的构成性知识较少需要加强相关研究的发展，而构成性知识依赖于社会知识供给[36]，要求研究者对事物的在社会中实际情况作多元化认识思考。除了心理学和计算机方面的研究，研究者们还要多关注知识可视化产品的政治经济价值和社会学意义——也就是不仅关注知识可视化设计的

微观层面，也思考其宏观效应。社会知识再生产过程中，知识可视化正扮演着越来越重要的角色，多元化认识视角和丰富研究层次将帮助设计者更好的定位和定义自己的设计产品，促进知识可视化领域的设计研究发展。

5.2 设计研究道路把握

从文献梳理看出知识可视化的发展侧重实证主义路线，设计者通常认为现实是单一的和外在的，因为知识可视化可以被客观地认识。因此研究方法专注于降低研究者的反应性，实现可靠性、可复制性和代表性[37]。随着知识可视化领域的不断拓展，研究的复杂性快速增加，一些可视化研究者将获得的知识视为社会建构的而不是客观确定的[38]，如大量的讨论“参与”、“探索”等的关于主体能动性的研究，他们认为相对主义具有解释力优势[39][40]。实证主义和相对主义这两种认识视角能够部分的解决可视化设计中的一些问题，但不能兼顾当下的知识可视化在知识社会里普遍应用的情况。尤其相对主义的预设是一切立场、看法、理论可以平等的、无条件的说清楚自己，会遮蔽那些“无法说话”的立场的存在。知识可视化设计者应扎根复杂的社会现实，用唯物辩证法协调设计的内在价值和外部需求得到良好的自律标准，把握知识可视化设计研究道路。

5. 结语

研究解析了知识可视化领域辩证发展的脉络，知识可视化设计发展经历了从具体到抽象再到具体的过程，得出结论知识可视化的设计研究者们应跳出传统的研究框架，多元化丰富设计认识，理解知识可视化在知识社会整体的意义和价值，以唯物辩证法把握设计趋势和研究道路。

(通讯作者: 张文　E-mail:zhangwen328@qq.com)

1[] Engelbrecht, L., Botha, A., & Alberts, R. Designing the Visualization of Information. International Journal of Image and Graphics, 2015,15(02), 1540005. doi:10.1142/s0219467815400057
2[] Masson P L , Dorst K , Subrahmanian E . Design theory: history, state of the art and advancements[J]. Research in Engineering Design, 2013, 24(2):97-103.
3[] Ec K N , Waltman L R . VOSviewer: A Computer Program for Bibliometric Mapping[J]. ERIM Report Series Research in Management, 2009, 84(2):523-538.
4[] Chen C . System and method for automatically generating systematic reviews of a scientific field[J]. US,US8566360 B2,2013.
5[] 许光伟. 《导言》的革命:事的科学和研究对象的确立-兼析"科学抽象法"的反思问题[J]. 江汉论坛, 2015(9):8.
6[] 什么是元宇宙？为何要关注它？——解码元宇宙. 新华网 http://gd.news.cn/newscenter/2021-11/20/c_1128081990.htm [引用日期 2022-1-19]
7[] 数据采集于知网 www.cnki.com 2021 年 12 月 21 日.
8[] 赵国庆,黄荣怀,陆志坚.知识可视化的理论与方法[J].开放教育研究,2005(01):23-27.
9[] 贺全兵.可视化技术的发展及应用[J].中国西部科技,2008(04):4-7.
10[] 张霞.知识可视化研究综述[J]. 软件导刊(教育技术),2013,12(02): 8-11.DOI:10.16735/j.cnki.jet.2013.02.008.
11[] 王晰. 医疗共享决策中的知识可视化设计研究[D].江南大学,2018. 122
12[] 袁国明,周宁.信息可视化和知识可视化的比较研究[J].科技情报开发与经济,2006(12):93-94.
13[] 周宁,陈勇跃,金大卫,张会平.知识可视化与信息可视化比较研究[J].情报理论与实践,2007(02):178-181+255.DOI:10.16353/j.cnki.1000-7490.2007.02.010.
14[] 赵慧臣.知识可视化的视觉表征研究综述[J].远程教育杂志, 2010, 28(01): 75-80. DOI: 10.15881/ j.cnki.cn33-1304/ g4.2010.01.019.
15[] 张霞.知识可视化研究综述[J]. 软件导刊(教育技术),2013,12(02): 8-11.DOI:10.16735/j.cnki.jet.2013.02.008.
16[] 刘超.近十年国外知识可视化研究发展述评[J].上海教育科研, 2012(09): 32-36. DOI: 10.16194/ j.cnki.31-1059/ g4.2012.09.007.
17[] Paivio A . Mental Representations[M]. Oxford University Press, 1986.
18[] Eppler M J , Burkhard R A . Knowledge Visualization -- Towards a New Discipline and its Fields of Application. 2004.
19[] 赵慧臣,王淑艳.知识可视化应用于学科教学的新观点——访瑞士知识可视化研究开拓者马丁·爱普教授[J].开放教育研究, 2014,20(02):4-10.DOI:10.13966/j.cnki.kfjyyj.2014.02.003.
20[] 邱婷. 知识可视化作为学习工具的应用研究[D]. 江西师范大学.
21[] 朱永海. 基于知识分类的视觉表征研究[D].南京师范大学,2013.
22[] 王朝云,刘玉龙.知识可视化的理论与应用[J].现代教育技术,2007(06):18-20+17.
23[] 王志娟,彭宣维.知识表征研究——过往与前瞻[J].北京科技大学学报(社会科学版),2021,37(05):526-533.
24[] 张会平,周宁.基于知识可视化的隐性知识转换模型研究[J].现代图书情报技术,2007(02):60-63.
25[] 周宁,陈勇跃,金大卫,张会平.知识可视化框架研究[J].情报科学,2007(04):566-569.
26[] 张会平,周宁.基于可视化技术的知识转化模型[J].情报理论与实践, 2009, 32(05):5-8. DOI: 10.16353/ j.cnki. 1000-7490. 2009.05.004.
27[] 赵慧臣.知识可视化视觉表征的内容构建方法[J].现代教育技术,2011,21(09):29-33
28[] 刘伟. 知识可视化设计研究[D].中南大学,2012.
29[] 王晰. 医疗共享决策中的知识可视化设计研究[D].江南大学,2018.
30[] U. Hinrichs and S. Forlini. In defense of sandcastles: Research thinking through visualization in dh. In Conf.on Digital Humanities. International Alliance of Digital Humanities Organizations (ADHO), 2017.
31[] Mccurdy N , Dykes J , Meyer M . Action Design Research and Visualization Design. ACM, 2016.10-18.
32[] Bodrow W , Magalashvili V . Knowledge Purpose and Visualization[J]. Springer Berlin Heidelberg.
33[] Burkhard, R. A . Learning from architects: the difference between knowledge visualization and information visualization[C]// Information Visualisation, 2004. IV 2004. Proceedings. Eighth International Conference on. 2004.
34[] 张立达著.实践辩证法重构下的现象学[M].上海：上海三联书店.2019. 444.
35[] Rees D , Laramee R S . A Survey of Information Visualization Books: Survey of Information Visualization Books[J]. Computer Graphics Forum, 2019.
36[] 谢友柏. 论设计科学[J]. 上海交通大学学报, 2019, 53(7):8.
37[] M. Burawoy. The extended case method. Soc. Theory, 1998,16(1):4－33.
38[] Duncan M . Autoethnography : critical appreciation of an emerging art[J]. International Journal of Qualitative Methods. 3(4):28－39.
39[] Finlay, L. Negotiating the swamp: the opportunity and challenge of reflexivity in research practice[J]. Qualitative Research, 2002, 20(2):209-230.
40[] Meyer M , Dykes J . Criteria for Rigor in Visualization Design Study[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2019, PP(99):1-1.